

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**ELABORACION EXPERIMENTAL DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DEL  
FRUTO DE ALGARROBO**

**Por:**

**ELIZABETH ARAMAYO COLQUE**

**Modalidad de graduación: Investigación Aplicada, presentado a consideración de la  
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para  
optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

**noviembre de 2018**

**TARIJA-BOLIVIA**

**ADVERTENCIA**

El tribunal calificador del presente trabajo no se responsabiliza con la forma, términos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

**DEDICATORIA**

A mi madre; Lidia Colque y a mis queridos padre; Teófilo Aramayo y abuelita; María Segovia que desde el cielo me acompañan. A mis queridas hermanas Geovanna, Jessica y Daniela.

Y con un cariño especial a mi querido hijito Isaac Aron Chilaca Aramayo.

### **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarme la oportunidad de culminar esta nueva etapa de mi vida y por darme una familia maravillosa, unos padres y hermanas que me apoyaron siempre y nunca dudaron de mi capacidad. A mi docente guía; Ing. Miguel Ángel Vargas

### **PENSAMIENTO**

El hecho de que Dios nos haya brindado vida a través de nuestros padres es una gran fortuna.

Él obra siempre a nuestro favor muchos lo llaman destino, cuidemos nuestras fortunas por que para que aprendamos a valorarlas algún día nos faltarán.

Elizabeth Aramayo C.

## INDICE

ADVERTENCIA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
PENSAMIENTO .....	iv
ANEXOS .....	8

## INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
DATOS HISTORICOS DEL ALGARROBO .....	2
OBJETIVOS .....	4
OBJETIVO GENERAL .....	4
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	4
JUSTIFICACIÓN .....	5
ASPECTO ECONÓMICO.....	5
ASPECTO TECNOLÓGICO.....	6
ASPECTO SOCIAL.....	6
ASPECTO AMBIENTAL.....	6
MARCO TEORICO.....	7

## CAPÍTULO 1

### MARCO TEORICO

1.1. GENERALIDADES DEL ALGARROBO.....	7
1.2. PRODUCCION DE ALGARROBA EN TARIJA .....	8
1.3. VARIETADES DE ALGARROBOS .....	9
1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALGARROBA .....	11
1.4.1. PULPA.....	11
1.4.2. ENDOCARPIO .....	12
1.5. REQUERIMIENTO AGROECOLÓGICO .....	14
1.5.1. LUZ SOLAR.....	14
1.5.2. PRECIPITACIÓN.....	14
1.5.3. ALTITUD .....	14
1.5.4. BAJAS TEMPERATURAS .....	14

1.5.5. ALTAS TEMPERATURAS.....	14
1.5.6. TIPO DE SUELO.....	14
1.6. FLORACIÓN.....	15
1.7. FRUTO .....	15
1.8. PARTES DE LA ALGARROBA.....	16
1.8.1. EXOCARPIO (CASCARA).....	17
1.8.2. ENDOCARPIO (CAROZO) .....	17
1.8.3. SEMILLAS .....	17
1.8.3.1. EPISPERMO.....	17
1.8.3.2. ENDOSPERMO.....	17
1.9. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA .....	18
1.9.1. ALTURA .....	18
1.9.2. COPA.....	18
1.9.3. CORTEZA .....	18
1.9.4. HOJAS .....	18
1.9.5. FLORES.....	19
1.9.6. FRUTOS .....	19
1.9.7 SEMILLAS .....	19
1.9.8. RAÍCES .....	19
1.10. ETANOL.....	19
1.11. PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ETILICO EN BOLIVIA .....	21
1.11.1. ALCOHOL BOLIVIANO EXPORT.....	21
1.12. LEVADURAS.....	25
1.12.1. BIOQUÍMICA DE LA REACCIÓN DE FERMENTACIÓN .....	26
1.13. FACTORES QUE INTERVIENE EN LA FERMENTACION ALCOHOLICA .....	27
1.13.1. CONCENTRACIÓN DE ETANOL RESULTANTE.....	28
1.13.2. ACIDEZ DEL SUSTRATO .....	28
1.13.3. CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES .....	28
1.13.4. CONTACTO CON EL AIRE.....	28
1.13.5. LA TEMPERATURA .....	29
1.13.6. RITMO DE CRECIMIENTO DE LAS CEPAS .....	29
1.14. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA .....	29
1.15. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO .....	30

1.15.1. PROCESO DE FERMENTACIÓN DISCONTINUO .....	30
1.15.2. DESTILACIÓN .....	32
1.15.3. DESTILACIÓN SIMPLE .....	33
1.15.4. DESTILACIÓN FRACCIONADA .....	33
1.16. EXPORTACIONES DE ALCOHOL ETÍLICO QUE REALIZA BOLIVIA .....	34
1.17. PROPIEDADES DEL ETANOL .....	35
1.17.1. FORMULA Y PESO MOLECULAR .....	35
1.17.2. COMPOSICION .....	35
1.17.3. GENERALIDADES.....	35
1.17.4 PROPIEDADES QUÍMICAS .....	36
1.17.5. RIESGOS .....	36
1.17.6 INGESTIÓN .....	37

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1. PARTE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	38
2.2. DESCRIPCIÓN DEL METODO DE INVESTIGACIÓN .....	38
2.4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA .....	41
2.5. DISEÑO FACTORIAL.....	43
2.5.1. PARAMETROS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO .....	43
2.5.2. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DEL FRUTO DE ALGARROBO EN LA DESTILACIÓN EN EL ROTAVAPOR .....	45
2.6. OBTENCION DE ETANOL ETILICO A PARTIR DEL FRUTO DEL ALGARROBO	49
2.7. PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DEL ALGARROBO.....	51
2.7.1. OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	51
2.7.2. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	51
2.7.3. LIMPIEZA DE LA MATERIA PRIMA .....	52
2.7.4. SECADO DE LA MATERIA PRIMA .....	52
2.7.5. EXTRACCION DE SOLIDOS SOLUBLES .....	53
2.7.6. PESADO .....	54
2.7.7. TRATAMIENTO TERMICO .....	55
2.7.8. ACONDICIONAMIENTO DE MOSTO .....	55
FIGURA 2- 6. HARINA DE ALGARROBO .....	56



2.7.9. FERMENTACIÓN.....	56
2.7.10. DECANTACIÓN .....	59
FIGURA 2- 8. DECANTACIÓN .....	60
2.7.11.1. DESTILACIÓN SIMPLE CON EL ROTAVAPOR.....	60
TABLA II- 14. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN .....	61
2.7.12. ENVASADO.....	64
2.7.13. ETIQUETADO .....	64
2.8. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS REALIZADOS EN LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS .....	65
2.9. BALANCE DE MATERIA.....	66
2.9.1. BALANCE DE MATERIA EN EL MOLINO DE LA MATERIA PRIMA .....	66
2.9.2 BALANCE DE MATERIA EN ACTIVACION DE LA LEVADURA .....	67
2.9.3. BALANCE DE MATERIA EN LA FILTRACION .....	68
2.9.4. BALANCE DE MATERIA EN LA DESTILACION EN EL ROTA VAPOR .....	69
2.10. BALANCE DE MATERIA EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN .....	70
2.11. BALANCE GENERAL DEL PROCESO DE OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO EN EL ROTA VAPOR .....	74
2.12. BALANCE GENERAL DEL PROCESO DE OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN .....	75
2.12. BALANCE DE ENERGIA EL ROTA VAPOR.....	76
2.12.1. CALOR GENERADO PARA CALENTAR LA MUESTRA .....	76
2.12.2. CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN.....	78
2.112.3. CALOR ABSORBIDO POR EL CONDENSADOR .....	78
2.10.4. CALOR TOTAL .....	79
2.12.5. BALANCE DE ENERGIA EN LA COLUMNA DE DESTILACIÓN .....	79
2.12.5.2. CALOR LATENTE DE VAPORIZACION.....	81
2.12.5.3 CALOR ABSORBIDO POR EL CONDENSADOR .....	81
2.12.5.4. CALOR TOTAL .....	83

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION.....	91
3.1.1. RESULTADOS GENERALES DE LA MOLIENDA Y LA INOCULACION DE LA LEVADURA.....	91

3.1.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE FERMENTACION .....	91
3.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA FILTRACION .....	92
3.1.4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE DESTILACION CON EL ROTA VAPOR.....	94
3.1.5. PARAMETROS OPTIMOS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETÍLICO POR DESTILACION .....	94
3.1.6. COMBINACION DE VARIABLES PARA LA DESTILACIÓN .....	96
3.1.7. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE DESTILACION CON LA COLUMNA DE DESTILACIÓN .....	96
3.1.8. PARAMETROS OPTIMOS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETÍLICO POR DESTILACIÓN .....	97

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. CONCLUSIONES .....	103
4.2. RECOMENDACIONES .....	105
BIBLIOGRAFIA .....	98
ANEXOS .....	0
ANEXO C.....	15
TAXONOMIA DE LA ALGARROBA .....	15
ANEXO D.....	17
ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LA ALGARROBA.....	17
ANEXO E.....	19
ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LA ALCOHOL DE ALGARROBO.....	19
ANEXO F .....	21
PROCESO DE OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO .....	21

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- 1. ALGARROBO MADURO DE PROSOPIS ALBA (ASPECTO INTERNO) .....	16
FIGURA 1- 2. COMPOSICION MORFOLOGICA DE LA ALGARROBA.....	18
FIGURA 2- 1. FRUTOS DEL ALGARROBO	42
FIGURA 2- 2.DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO .....	50
FIGURA 2- 4.LIMPIEZA DE LAS VAINAS DE ALGARROBA .....	52
FIGURA 2- 6.SECADO DE LAS VAINAS DE ALGARROBO.....	53
FIGURA B-1 DEGRADACIÓN DE AZUCARES CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 1	11
FIGURA 3- 2.DEGRADACION DE AZUCARES CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 1 .....	11
FIGURA B-3. DEGRADACIÓN DE AZUCARES CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 2 .....	12
FIGURA B- 4. DEGRADACIÓN DE AZUCARES CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 2 REPLICA .....	12
FIGURA B- 5. DEGRADACIÓN DE AZUCAR CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 3 .....	13
FIGURA B- 6. DEGRADACIÓN DE AZUCARES CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 3 REPLICA .....	13
FIGURA B- 7. DEGRADACIÓN DE AZUCARES CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 4.....	14
FIGURA B- 8. DEGRADACIÓN DE AZUCARES CON RESPECTO AL TIEMPO, MUESTRA 4 REPLICA .....	14

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I- 1. SUPERFICIE TERRITORIAL Y PRODUCCION DE ALGOROBO ...9	
TABLA I- 2. VARIETADES DE ALGARROBOS CULTIVADAS EN ESPAÑA..10	
TABLA I- 3. COMPOSICION QUIMICA DE P. PALLIDA .....11	
TABLA I- 4. COMPOSICION GENERAL DE LA PULPA DE P. PALLIDA.....12	
TABLA I- 5. COMPOSICIÓN DE LA FRACCION INDIGESTIBLE .....13	
TABLA I- 6. PARAMETROS MORFOLÓGICOS DE FRUTOS Y SEMILLAS.....16	
TABLA I- 7. EXPORTACIONES DE ALCOHOL ETILICO QUE REALIZA BOLIA GESTION 2014 .....34	
TABLA II- 1. ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LAS VAINAS DE ALGARROBO	42
TABLA II- 2. PARAMETROS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DE LOS FRUTOS DE ALGARROBO.....43	
TABLA II- 3. NIVELES DE LA VARIABLES PARA LA FERMENTACION.....44	
TABLA II- 4. COMBINACION DE LAS VARIABLES DE FERMENTACION ....45	
TABLA II- 5. PARAMETROS PARA LA OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO A PARTIR DEL FRUTO DE ALGARROBO.....46	
TABLA II- 6. NIVELES DE LAS VARIABLES PARA LA FERMENTACION.....47	
TABLA II- 7. COMBINACION DE LAS VARIABLES DE DESTILACION .....47	
TABLA II- 8. CARACTERISTICAS DEL MOLINO DE BOLAS .....54	
TABLA II- 9. CARACTERISTICAS DE LA BALANZA ANALITICA ELECTRONICA .....54	
TABLA II- 10. CARACTERISTICA DE TERMOSTATO DE INMERSION.....55	
TABLA II- 11. CARACTERISTICA DE REFRACTOMETRO DIGITAL .....57	
TABLA II- 12. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE DESTILACION .....61	
TABLA II- 13. ANALISIS FISICOQUIMICOS DEL ALCOHOL ETILICO.....66	

TABLA III-9. RESULTADOS EN LA DECANTACIÓN 93

TABLA A- 1. MEDICIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE 9° BRIX EN 7 DÍAS Y 3.00 gr DE LEVADURA PARA LA FERMENTACIÓN.....	2
TABLA A- 2. MEDICIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE 9° BRIX EN 7 DÍAS Y 3.00 gr DE LEVADURA PARA LA FERMENTACIÓN.....	3
TABLA A- 3. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 7° BRIX EN 7 DÍAS Y 4.8 gr DE LEVADURA PARA LA FERMENTACIÓN .....	4
TABLA A- 4. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 7° BRIX EN 7 DÍAS Y 4.8 gr DE LEVADURA PARA LA FERMENTACIÓN .....	5
TABLA A- 5. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 9° BRIX EN 7 DÍAS Y 4.00 gr DE LEVADURA EN LA FERMENTACIÓN.....	6
TABLA A- 6. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 9° BRIX EN 7 DÍAS Y 4.00 gr DE LEVADURA EN LA FERMENTACIÓN.....	7
TABLA A- 7. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 7° BRIX EN 7 DÍAS Y 5.5 gr DE LEVADURA PARA LA FERMENTACIÓN .....	8
TABLA A- 8. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 7° BRIX EN 7 DÍAS Y 5.5 gr DE LEVADURA PARA LA FERMENTACIÓN .....	9

## **ANEXOS**

ANEXO 1

TAXONOMIA DE LA ALGARROBA

ANEXO 2

ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LA ALGARROBA

ANEXO 3

ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LA ALCOHOL DE ALGARROBO

ANEXO 4

PROCESO DE OBTENCION DE ALCOHOL ETILICO